

## Modyfikacja składu granulometrycznego i właściwości geotechnicznych gruntu niespoistego za pomocą dodatku pyłu

Agnieszka Lal

*Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,  
e-mail: a.lal@pollub.pl*

**Streszczenie:** Istotną, z praktycznego punktu widzenia, właściwością gruntów stosowanych jako materiał nasypowy lub zasypowy w budownictwie ziemnym jest zagęszczalność. Wskaźnik uziarnienia wykorzystywanych w tym celu piasków, pospółek lub żwirów charakteryzuje się stosunkowo niewielką wartością, zazwyczaj wahającą się w granicach 2,5–4,0, co pozwala na określenie ich jako trudno lub średnio zagęszczalnych. W pracy przedstawiono wyniki badań, jakie przeprowadzono w celu określenia wpływu modyfikacji składu granulometrycznego gruntu niespoistego – piasku średniego, za pomocą dodatku pyłu lessowego na zagęszczenie. Za grunt mało spoisty przyjęto pył lessowy pochodzący z terenu Lublina. Grunty te zajmują znaczną powierzchnię obszaru miasta, a ich częste występowanie w strefie przypowierzchniowej, czyni je łatwo dostępnymi. Badania wykonano na próbce piasku średniego o uziarnieniu naturalnym, która stanowiła próbę kontrolną oraz dwóch mieszaninach piasku średniego z pyłem lessowym, sporządzonych w stosunku objętościowym 1:1 i 2:1. Każdy z gruntów poddano analizie sitowej i areometrycznej. Uzyskano krzywe uziarnienia, a także określono procentową zawartość poszczególnych frakcji. Analiza wyników składu granulometrycznego pozwoliła na wyznaczenie wskaźnika różnoziarnistości, który dla piasku średniego wynosił 1,71 zaś dla mieszanin piasku z pyłem lessowym wzrósł do 21,8 (w przypadku próbki materiałów zmieszanych w stosunku 1:1) oraz 13,3 (dla próbki materiałów zmieszanych w stosunku 2:1). Uzyskane wyniki sugerują, iż modyfikacja piasku średniego pyłem lessowym pozwala na zmianę klasyfikacji wytworzonej mieszaniny z gruntu trudno zagęszczalnego na dobrze zagęszczalny, a zatem możliwe jest uzyskanie większego zagęszczenia. W celu potwierdzenia tej tezy wykonano badania zagęszczenia i wilgotności optymalnej w aparacie Proctora wg metody I, dla każdego z trzech badanych gruntów. W przypadku próby kontrolnej maksymalna uzyskana gęstość objętościowa szkieletu gruntowego wynosiła 1,751 g/cm<sup>3</sup> przy wilgotności 11,96%. Próbkę piasku łączonego z pyłem lessowym w stosunku objętościowym 1:1 oraz 2:1 wykazały maksymalne gęstości objętościowe odpowiednio 2,076 i 2,079 g/cm<sup>3</sup> przy wilgotności około 7%. W czasie badania stwierdzono plastyczność gruntu uzyskanego przez połączenie piasku i pyłu lessowego w stosunku objętościowym 1:1 przy wilgotności powyżej 14,25%, co wynika z faktu, iż piasek o takiej zawartości pyłu stanowi grunt na granicy gruntów spoistych i niespoistych. Zwiększona plastyczność uniemożliwia zagęszczenie badanego gruntu przy wilgotności powyżej 14,5% ze względu na powstające odkształcenia oraz wykazywaną spójność. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, iż modyfikacja uziarnienia piasku średniego pyłem lessowym w proporcji 2:1 pozwala na uzyskanie największego zagęszczenia w badanych warunkach. Wyniki badania sugerują, iż dzięki połączeniu piasku ze stosunkowo łatwo dostępnym pyłem lessowym można osiągnąć wymierne korzyści w postaci lepszego zagęszczenia gruntu, co pozwala na jego zastosowanie w budownictwie

ziemnym jako grunt nasypowy lub zasypowy oraz na wykorzystanie gruntu rodzimego na terenach lessowych.

**Słowa kluczowe:** piasek, less, uziarnienie, zagęszczalność, grunt nasypowy.

## 1. Wprowadzenie

W budownictwie ziemnym kontrolowane grunty nasypowe i zasypowe stanowią obok gruntów rodzimych główny materiał budowlany. Układane i zagęszczane warstwami, współtworzą budowle geotechniczne, od obwałowań rzek, przez ściany oporowe, podtorza ziemne i nasypy drogowe, aż po przyczółki mostów i estakad.

Dla tego typu obiektów oznaczenie stanów granicznych związanych ze statecznością zewnętrzną, wewnętrzną i ogólną jest niezbędne, w celu zapewnienia ich bezpiecznej eksploatacji. O ile stateczność wewnętrzna dotyczy elementów wzmacniających grunt (np. zbrojenia w postaci geosyntetyków, żelbetowych ścian kątowno-płytowych czy gwoździ gruntowych), stateczność zewnętrzna i ogólna zależy przede wszystkim od parametrów geotechnicznych gruntów. W praktyce inżynierskiej parametry te ustalane są najczęściej przy użyciu normy PN-81/B-03020 „Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie:” na podstawie znanego stopnia zagęszczenia (rodzimego) lub wskaźnika zagęszczenia (nasypowego) gruntu niespoistego. Grunty o większym zagęszczeniu charakteryzują się wyższymi parametrami geotechnicznymi [1], zatem w celu zwiększenia wytrzymałości oraz zmniejszenia odkształceń kontrolowanego gruntu nasypowego dąży się do jego jak najlepszego zagęszczenia.

Wpływ na uzyskane zagęszczenie ma zarówno dobór odpowiedniej metody zagęszczenia, jak i skład granulometryczny gruntu [2]. Do oceny możliwości zagęszczenia wykorzystuje się wskaźnik różnoziarnistości  $C_u$ , określany na podstawie krzywej uziarnienia jako stosunek wielkości średnic zastępczych  $d_{60}$  do  $d_{10}$ . Grunty uznaje się za dobrze zagęszczalne, gdy wskaźnik  $C_u$  jest większy od 5, średnio zagęszczalne przy  $C_u=3-5$  oraz trudno zagęszczalne przy  $C_u$  mniejszym od 3 [3]. W przypadku gruntów jednofrakcyjnych i równoziarnistych, których  $C_u$  waha się w granicach 2,5–4,0, osiągnięcie odpowiedniego zagęszczenia jest uciążliwe. Zarówno w przypadku pospółki jak i piasku średniego z domieszkami drobnego lub średniego żwiru, często stosowanego zarówno w budowlach geotechnicznych jak i do wymiany gruntów nienośnych, uzyskiwane zagęszczenie jest niezadowalające [4]. Badania potwierdzają, że wraz ze wzrostem udziału części organicznych w gruncie, zmniejsza się jego zagęszczalność [5]. W praktyce inżynierskiej ważne jest określenie optymalnego rodzaju gruntu nasypowego, charakteryzującego się dobrą zagęszczalnością.

Wśród stosowanych w budownictwie ziemnym gruntów dominują piaski, pospółki i żwiry, których badania wskazują na pojawiające się utrudnienia w zagęszczaniu. Związane jest to w dużej mierze z niewielkimi wartościami wskaźnika różnoziarnistości, co wynika ze stosunkowo dużej wielkości ziaren  $d_{10}$ . Modyfikacja składu granulometrycznego, zakładająca obniżenie średnic cząstek stanowiących wraz z mniejszymi 10% masy szkieletu gruntowego, pozwoli na uzyskanie większej wartości  $C_u$ , co powinno znaleźć odzwierciedlenie w uzyskanym zagęszczeniu. W celu oznaczenia rzeczywistego wpływu modyfikacji uziarnienia wybranego gruntu niespoistego na jego maksymalne zagęszczenie przeprowadzono badania laboratoryjne na trzech rodzajach materiałów, które stanowiły piasek średni oraz jego mieszaniny z pyłem lessowym, w zmiennych proporcjach. Określono wpływ modyfikacji składu wyjściowego gruntu piaszczystego pyłem lessowym na efektywność zagęszczenia, w celu oceny możliwości jego zastosowania jako gruntu nasypowego w robotach ziemnych i fundamentowych.

## 2. Metodyka badań laboratoryjnych

Badany grunt niespoisty stanowił piasek średni, pobrany na terenie Lublina, z głębokości około 1,5 m. Grunt ten łączono z pyłem lessowym pochodzącym z terenu Lublina, pobranym z głębokości około 1,0 m. W celu przeprowadzenia założonego eksperymentu przygotowano próbkę piasku średniego (MSa) o wadze około 10 kg oraz pyłu lessowego (Si), o wadze około 5 kg. Grunty wysuszone do stałej masy w suszarce w temperaturze 105°C, a następnie przeprowadzono rozdzielanie poszczególnych frakcji pyłu lessowego, który jako grunt spoisty wykazuje średnią wytrzymałość w stanie powietrzno-suchym. W kolejnym etapie grunty poddano kwartowaniu zgodnie z wytycznymi normy CEN ISO/TS 17892-4 [6]. Materiał gruntowy przygotowany w ten sposób posłużył do wydzielenia próbek na potrzeby założonych badań laboratoryjnych.

Badaniom poddano trzy rodzaje próbek gruntu – piasku średniego, piasku średniego łączonego z pyłem lessowym w proporcji objętościowej 1:1 (próbka siMSa (1:1)) oraz piasku średniego łączonego z pyłem lessowym w stosunku objętościowym 2:1 (próbka siMSa (2:1)).

Na podstawie analizy granulometrycznej, według wytycznych normy CEN ISO/TS 17892-4 [6], oznaczono procentową zawartości frakcji oraz wielkości wskaźników różnoziarnistości  $C_u$  i krzywizny uziarnienia  $C_c$ . Próbkę przygotowano zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w tabeli 1.

Tabela 1. Próbkę gruntów przygotowane do analizy sitowej

Lp.	Oznaczenie próbki	Masa MSa	Masa Si	Masa próbki $m_{st}$
1.	MSa	250 g	–	250 g
2.	siMSa (1:1)	127 g (85 cm <sup>3</sup> )	125 g (85 cm <sup>3</sup> )	252 g
3.	siMSa (2:1)	150 g (100cm <sup>3</sup> )	74 g (50cm <sup>3</sup> )	224 g

Przygotowane próbki gruntów przesiano kolejno przez zestaw sit o oczkach 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,125 oraz 0,063 mm na wstrząsarce mechanicznej. Czas przesiewu każdej próbki wynosił 10 minut. Po zakończeniu pracy wstrząsarki, każde z sit dodatkowo wstrząsano ręcznie przez około 1 minutę, celem dokładnego oddzielenia poszczególnych frakcji.

Po wykonaniu analiz sitowych, z próby drugiej oraz trzeciej do analizy areometrycznej frakcje pyłowo-iłowe wydzielono celem oznaczenia procentowej zawartości frakcji mniejszych od 0,063 mm. Analizę areometryczną oraz przygotowanie próbek przeprowadzono zgodnie z wytycznymi normy CEN ISO/TS 17892-4 [6]. Według zaleceń masa szkieletu gruntowego próbki wynosiła 24,00 g. Jako stabilizator do przygotowania zawiesiny zastosowano 25% roztwór amoniaku cz.d.a., łączony z wodą destylowaną w ilości 3 cm<sup>3</sup> na 1 dm<sup>3</sup> gotowego roztworu. Uzyskaną ciecz użyto do przemywania pyłu przez sito o oczku 0,063 mm. Przeprowadzono kontrolę stabilności uzyskanej zawiesiny po jej zagotowaniu i schłodzeniu do temperatury pokojowej. Stwierdzono brak występowania zjawiska koagulacji. Bezpośrednio przed przystąpieniem do analizy areometrycznej zawiesinę wymieszano stosując mieszadło, a następnie przewracając cylinder do góry dnem 30 razy w ciągu jednej minuty. Po upływie 30 sekund, 1,2 15, 30 minut oraz 1, 2, 4 i 24 h wykonywano odczyty z areometru zanurzanego w zawieszynie, dokonując również pomiaru temperatury zawiesiny. Przed rozpoczęciem analizy areometrycznej przeprowadzono cechowanie użytego do analiz areometru.

W kolejnym etapie badań wykonano analizę zagęszczalności gruntu w aparacie Proctora. Do badania przygotowano trzy rodzaje próbek (MSa, siMSa (1:1) oraz siMSa (2:1)). Skład wagowy próbek przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Próbkę użyte do badania w aparacie Proctora

Lp.	Oznaczenie próbki	MSa	Si	Masa próbki $m_{st}$
1.	MSa	3000 g	–	3000 g
2.	siMSa (1;1)	1793 g (1200 cm <sup>3</sup> )	1765 g (1200 cm <sup>3</sup> )	3558 g
3.	siMSa (2:1)	3586 g (2400 cm <sup>3</sup> )	1765 g (1200 cm <sup>3</sup> )	5351 g

Zgodnie z przyjętą (I) procedurą badania według wytycznych normy PN-EN 13286-2:2010 [7] masa próbek przekraczała 2000 g. Do badania zagęszczania gruntu użyto cylindra o średnicy 100 mm i objętości 1 dm<sup>3</sup> oraz ubijaka lekkiego (o wadze 2,5 kg), opuszczanego 25 razy z wysokości 305 mm w trzech fazach ubijania. Przed każdym zagęszczaniem powierzchnię gruntu w cylindrze wyrównywano. Gęstość oznaczano po całkowitym wypełnieniu cylindra zagęszczonym gruntem, a dla każdej z gęstości oznaczano wilgotność próbki, celem określenia wilgotności optymalnej. Wilgotność oznaczono jako procentową zawartość wody w masie szkieletu gruntowego, zgodnie z wytycznymi normy PN-86/B-02480 [8].

### 3. Wyniki badań

Analiza sitowa oraz areometryczna pozwoliły na określenie składu granulometrycznego trzech badanych rodzajów gruntu, piasku średniego MSa oraz piasku średniego zmieszanego z pyłem lessowym w stosunku objętościowym 1:1 oraz 2:1. Na podstawie masy gruntu pozostałego na sitach użytych do analizy granulometrycznej oraz wyników analizy areometrycznej sporządzono krzywe uziarnienia każdej z próbek (Fig. 2–4).

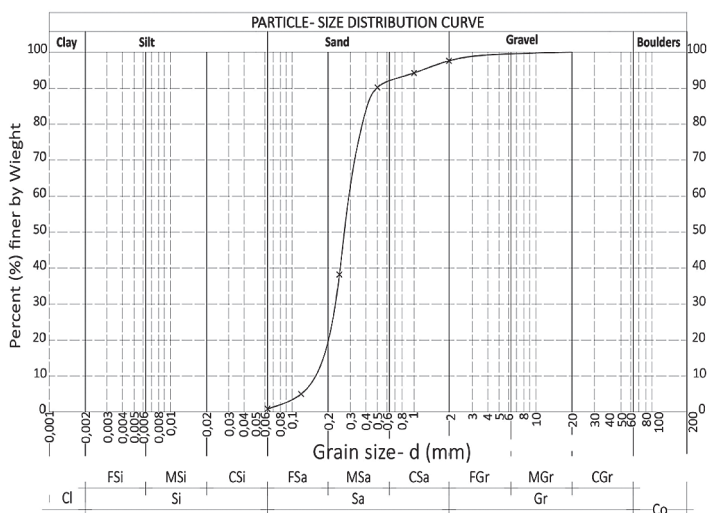


Fig. 1. Krzywa uziarnienia MSa

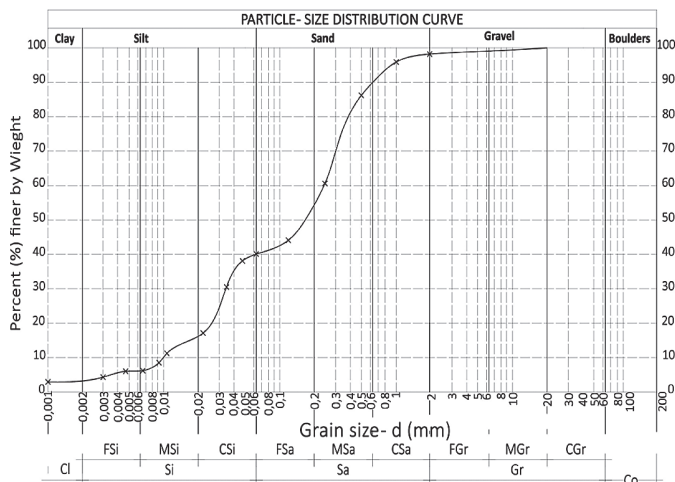


Fig. 2. Krzywa uziarnienia siMSa (1:1)

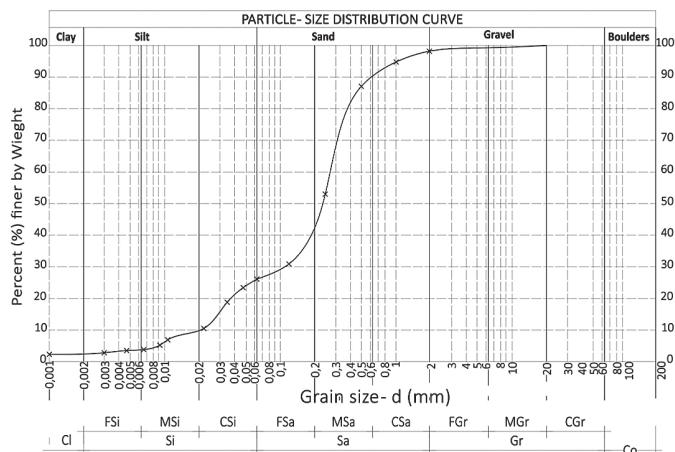


Fig. 3. Krzywa uziarnienia siMSa (2:1)

Na podstawie wykreślonych krzywych uziarnienia wyznaczono zawartości poszczególnych frakcji. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki badań składu granulometrycznego

Lp. Próbką	Udział frakcji [%]								
	4,0-2,0 (Gr)	2,0-0,63 (CSa)	0,63-0,2 (MSa)	0,2-0,063 (FSa)	0,063-0,001 (Cl, Si)	0,063-0,02 (CSi)	0,02-0,0063 (MSi)	0,0063-0,002 (FSi)	<0,002 (Cl)
1. MSa	2,4	5,5	72,5	18,7	0,9	—	—	—	—
2. siMSa (1:1)	1,8	8,2	35,7	14,2	40,1	24,0	10,0	2,9	3,2
3. siMSa (2:1)	1,8	7,8	48,1	16,2	26,1	16,3	6,1	1,3	2,4

Wyznaczone krzywe uziarnienia umożliwiły określenie charakterystycznych średnic ziaren każdej z próbek gruntu, które wraz z mniejszymi stanowiły odpowiednio 10, 60 i 30% masy szkieletu gruntowego. Następnie oznaczono wielkości wskaźnika różnoziarnistości  $C_u$  i wskaźnika krzywizny  $C_c$  badanych gruntów, a uzyskane wartości charakterystyczne każdej z próbek przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości wskaźników charakteryzujących uziarnienie badanych gruntów

Lp.	Próbka	$d_{10}$	$d_{60}$	$d_{30}$	$C_u$	$C_c$
1.	MSa	0,170	0,290	0,230	1,71	1,07
2.	siMSa (1:1)	0,011	0,240	0,033	21,8	0,41
3.	siMSa (2:1)	0,020	0,285	0,110	14,3	2,12

Badanie w aparacie Proctora pozwoliło na oznaczenie maksymalnego możliwego zagęszczenia każdej z próbek gruntu, a także wilgotności optymalnej, przy której zagęszczenie to jest osiąmane. Wyniki badania zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wyniki badania w aparacie Proctora

Lp.	Symbol próbki	Parametr	Nr badania							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1.	MSa	Gęstość [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	1,746	1,703	1,701	1,724	1,751	1,681	1,694	1,598
		Wilgotność [% wag.]	0,54	3,62	6,28	8,65	11,96	17,80	18,42	21,74
2.	siMSa (1:1)	Gęstość [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	2,014	2,076	2,042	2,010	1,905	1,808	–	–
		Wilgotność [% wag.]	3,65	7,18	8,91	9,33	11,97	14,25	–	–
3.	siMSa (2:1)	Gęstość [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	1,968	2,002	2,032	2,057	2,079	2,067	2,028	–
		Wilgotność [% wag.]	2,68	3,15	4,35	5,24	6,83	7,60	9,41	–

Powyższe wyniki badań umożliwiły wyznaczenie krzywych zagęszczalności badanych gruntów (Fig. 4).

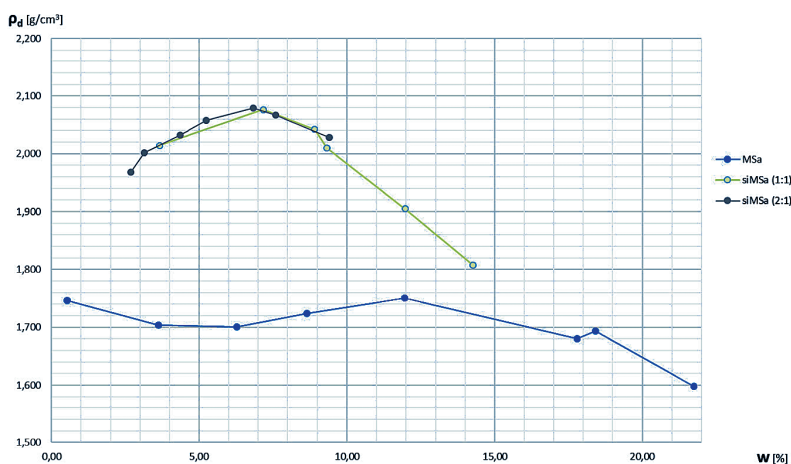


Fig. 4. Wykres zależności gęstości objętościowej od wilgotności



Należy podkreślić, że w przypadku gruntu siMSa (1:1) po zwiększeniu wilgotności powyżej 14,25% określenie parametrów zagęszczenia okazało się być niemożliwe, ze względu na plastyczność charakteryzującą badaną próbkę. Po trzech fazach ubijania w cylindrze pozostawało odkształcenie powstałe na skutek uderzenia ubijaka, zaś część gruntu wykazywała połączenie z ubijakiem odpajając się od pozostałej w cylindrze części gruntu. Zwiększenie ilości faz ubijania okazało się bezskuteczne.

#### 4. Analiza wyników i wnioski

Wyniki badań laboratoryjnych poddane zostały analizie, mającej na celu określenie wpływu modyfikacji składu granulometrycznego piasku średniego pyłem lessowym na jego maksymalne zagęszczenie. Analiza składu granulometrycznego pozwoliła na sklasyfikowanie piasku jako średniego oraz pyłu lessowego jako pyłu grubego. Pył ten zawierał około 9% frakcji ilastej.

Obliczone na podstawie krzywych uziarnienia wskaźniki różnoziarnistości pozwalają na przyjęcie wniosku, iż gruntem najlepiej zagęszczalnym spośród badanych jest siMSa (1:1). Wskaźnik ten pozwala także na zakwalifikowanie piasku średniego MSa bez dodatku pyłu lessowego jako trudno zagęszczalnego, oraz piasku średniego łączonego z pyłem lessowym (w obydwóch przyjętych wariantach proporcji) jako dobrze zagęszczalnego. Zmiana wartości wskaźnika  $C_u$  wynika ze zmniejszenia średnicy ziaren, które wraz z mniejszymi stanowią 10% masy gruntu. W przypadku piasku średniego wielkość  $d_{10}$  wynosi 0,17 mm, natomiast po modyfikacji składu granulometrycznego pyłem lessowym maleje do 0,020 mm i 0,011 mm. Piasek średni z pyłem lessowym uznano wobec powyższego jako materiał o większej zdolności do zagęszczenia.

Analiza uzyskanych wartości wskaźnika krzywizny badanych prób w odniesieniu do wielkości ich wskaźników różnoziarnistości, pozwala na sklasyfikowanie próbki siMSa (1:1) jako gruntu o nieciągłym uziarnieniu, ze względu na wartość  $C_c$  równą 0,41 przy wysokiej wartości  $C_u$ . Próba kontrolna MSa osiąga wielkości wskaźników charakterystyczne dla gruntów jednofrakcyjnych ( $C_u < 6$ ,  $C_c \approx 1$ ), zaś próbka siMSa (2:1) wykazuje wartości odpowiadające gruntom wielofrakcyjnym ( $C_u \approx 15$ ,  $C_c = 2,12$ ).

Wyniki badania zagęszczalności w aparacie Proctora wskazują, że największym zagęszczeniem przy zastosowaniu tej samej procedury badania charakteryzuje się próbka piasku średniego zmieszanego z pyłem lessowym w stosunku objętościowym 2:1. Wyznaczona maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego dla próbki siMSa (2:1) wynosi 2,079 g/cm<sup>3</sup>, natomiast w przypadku piasku średniego bez dodatku pyłu lessowego uzyskano niższą maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego równą 1,751 g/cm<sup>3</sup>. Potwierdzono tezę, przyjętą na podstawie niskiego wskaźnika różnoziarnistości, iż piasek średni bez dodatku pyłu lessowego należy sklasyfikować jako grunt trudno zagęszczalny. Piasek średni z pyłem lessowym (1:1) osiąga zagęszczenie znacznie wyższe (wartości maksymalnej gęstości objętościowej wyższa o 120%) niż piasek średni bez dodatku pyłu lessowego. Ze względu na brak powtórzeń badania uzyskane różnice pomiędzy osiągniętym zagęszczeniem obu mieszanin piasku i pyłu uznano za mieszczące się w granicy błędu oraz przyjęto wstępny wniosek dotyczący niewielkich różnic pomiędzy ich zdolnością do zagęszczenia. W toku dalszych badań planowana jest jego weryfikacja. Wilgotność optymalna piasku średniego wynosi 12%, podczas gdy dla próbek piasku modyfikowanego pyłem lessowym wynosi około 7%.

Jednym z najczęściej stosowanych w charakterze gruntu nasypowego i zasypowego jest piasek średni. Szerokie zastosowanie tego materiału w budownictwie ziemnym wynika z jego dostępności oraz względów ekonomicznych. Wykonane badania wskazują jednak na możliwość uzyskania większego zagęszczenia tego gruntu dzięki dokonaniu modyfikacji jego składu granulometrycznego pyłem lessowym. W obszarach, w których pokrywy lessowe stanowią znaczny procent powierzchni, zwłaszcza w warstwach przypowierzchniowych, często stosowane są jako grunt zasypowy przy wykonawstwie posadowienia bezpośredniego budowli. Wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że zastosowanie pyłu lessowego poszerzyć można o zastosowanie go jako dodatku do piasku w celu uzyskania gruntu o większej zagęszczalności i wykorzystania do różnorodnych zadań w dziedzinie budownictwa ziemnego.

## Literatura

- [1] Jermolowicz P. *Problematyka zagęszczania i stabilizacji gruntów w budownictwie. Technologie i ich skuteczność. Zasady projektowania i wykonawstwa*. Materiały szkoleniowe. Opolska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa, 1–72, 2015.
- [2] Dąbska A., Pisarczyk S. *Wyznaczenie parametrów geotechnicznych stosowanych do określania jakości zagęszczenia nasypów z gruntów niespoistych*. Acta Sci. Pol. Architectura 15(3) (2016) 3–15.
- [3] Kraszewski C. *Zagęszczanie gruntów niespoistych i kontrola zagęszczenia w budownictwie drogowym* s. 1–6, 2017.
- [4] Tymosiak D., Sulewska M.J. *Badania parametrów zagęszczalności gruntów niespoistych metodą Proctora*. Acta Sci. Pol. Architectura 15(3) (2016) 43–54.
- [5] Reichert J.M., Mentges M.I., Rodrigues M.F., Cavalli J.P., Awe G.O., Mentges L.R. *Compressibility and elasticity of subtropical no-till soils varying in granulometry organic matter, bulk density and moisture*. Catena 165 (2017) 345–357, 2017.
- [6] ISO 17892-4:2016, *Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 4: Determination of particle size distribution*. 2016.
- [7] PN-EN 13286-2:2010, *Mieszanki niezwiązane i związane hydraulicznie – Część 2: Metody badań laboratoryjnych gęstości na sucho i zawartości wody – Zagęszczanie metodą Proctora*, 2010.
- [8] PN-86/B-02480, *Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów*.

## Modification of the grain size distribution and geotechnical properties of the non-cohesive soil by the addition of the silt

Agnieszka Lal

*Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture,  
Lublin University of Technology, e-mail: a.lal@pollub.pl*

**Abstract:** Frequent issue in the practice of soil engineering is the fill soil compactibility. The uniformity coefficient  $C_u$  of the Sand, Sand-Gravel and Gravel, that are the most common fill soil, is relatively low and usually is in the range of 2.5 – 4.0. These values allow



to describe Sand, Sand-Gravel and Gravel as uniformly graded. The aim of the paper was to determine the impact of modification of the grain size distribution of the non-cohesive soil – Medium Sand (MSa) on its compactibility. The loess silt, sampled in the territory of the Lublin city was used to modified the Sand particle size distribution. Loess silt cover the considerable area of the Lublin, frequently in the surface zone. This ensures that loess silt could be reckoned as the easily accessible material. Laboratory tests were conducted on prepared samples of three kinds of soils – Medium Sand, Medium Sand combined with loess silt in the volume proportion of 1:1 and Medium Sand combined with loess silt in the volume proportion of 2:1. There were sieve and hydrometer analysis performed to quantify the percent finer by weight of grain size of prepared samples of the soils. As the result of grain size analysis particle size distribution curves were obtained. Estimated effective size  $D_{10}$  and  $D_{60}$  were used to determine the uniformity coefficient. The value of coefficient  $C_u$  for the Medium Sand was equal to 1.71 and it rose up to 21.8 (in case of Medium Sand combined with loess silt in the volume proportion of 1:1) and 13.3 (for the Medium Sand combined with loess silt in the volume proportion of 2:1). Obtained values suggest, that modification of Sand grain size distribution with use of loess silt allows to classify received probes as soils with high compactibility. In order to prove this thesis Proctor tests were conducted. There were the same three kinds of the soil tested according to procedure I. Results indicate that Medium Sand with natural grain size distribution reached the maximum dry density of  $1.751 \text{ g/cm}^3$  at the optimum water content of 11.96 %. The maximum dry density of Medium Sand combined with loess silt in the volume proportion of 2:1 and 1:1 reached accordingly 2.079 and  $2.076 \text{ g/cm}^3$  at the optimum water content of about 7%. During Proctor test, there were plasticity of Medium Sand combined with loess silt in the volume proportion of 1:1 remarked, for the samples of water content greater than 14.25%. Increased plasticity prevents compaction of the examined soil with humidity above 14.25%, due to the deformations and cohesion. As the results of conducted laboratory tests, there were ascertained that modification of the grain size distribution of Medium Sand with loess silt with volume proportion of 2:1 allows to reached the maximum compactibility. Therefore, combination of the Sand and relatively easily accessible loess could be used in soil engineering as the fill soil.

**Keywords:** sand, loess, grain-size distribution, compactibility, fill soil.

